

美ヶ原高原南斜面の地表面温度と土地利用環境に関する研究

松田松二^{*1}・星川和俊^{*1}・鳥井清司^{*2}

はじめに

(1) 前報では、美ヶ原高原南斜面の地形環境特性をメッシュ法を用いて解析したが、この報告では、ほぼ同じ地域における地表面の温度環境と土地利用の関連について、リモートセンシング・データの解析により得られた結果をとりまとめ報告する。前報でも述べたように、地域環境の面的な特性を解明していくことは、その地域の自然環境の把握、あるいは自然と人間の接点とも言える土地利用の今後の在り方を模索する上に、不可欠の前提となるであろう。

このような、まだ未知の部分が多い面的な地域環境の諸特性を調査するため、筆者等はメッシュ法と並行してリモートセンシングの活用を考えている。つまり、航空機等から得られるリモートセンシング・データを用いて、地域の植生、土地利用分類、あるいは気象環境解析等への実用性の検討を行ないつつある。特に、リモートセンシングから得られる情報は、広い地域全体から瞬時に集められたデータである点、更に個々の分解点で各種波長領域に渡る多様な情報を提供してくれる点において、多くの利点を有している。以上のような観点から見た時、リモートセンシングの実用性が保証されれば、この技法が面的な地域環境特性把握の有力な観測手段となり、また従来とは違った新しい視点に立つ地域環境情報を提供してくれる可能性も大きいと言える。

以上の目的に沿って、本報告では昭和53年10月に観測されたリモートセンシング・データを用いて、地表面の温度環境と土地利用分類に対して若干の解析を試みた。一般的に地表面の温度環境は、そこでの気象、植性、人間の生存等に対して、最も基礎的な環境形成の要因であり、また重要な規制要因ともなっている。そのため、まずリモートセンシング・データによって、当該地域の温度分布の推定を行ない、同時にその地域での土地利用の分類を試みた。そして、これらの結果とメッシュ法によるデータ等を参考にして、地表面における温度環境と土地利用との関連について、いくつかの定性的な考察を進めたものである。

I. リモートセンシングと利用データ

1. リモートセンシング

リモートセンシング (Remote Sensing) とは、⁽²⁾ 広義に見ると非接触式センサを用いる自然科学的認識行為 (測定、観測、計測、評価、識別、同定など) の一種であり、その目的、手段、対象、利用情報等によって、各種のセンサ、あるいは計測方式が開発されつつある。だが、ここでいうリモートセンシングは、人工衛星や航空機に搭載された MSS (Multi Spectral Scanner) により、地面上の物体特性の分光波長等をデジタルデータとして収集し、このデータを使って地面上の土地利用、気象、植生等の種類、性質、形状などを広域的に調査・分析する技法として定義する。特に、この技法は電磁波の多重パターン情報の獲得とそれらの多量データの処理とその解釈に特徴を有している。しかし、本技法は完全に確立された訳でなく、未だ一部の領域でしか実用化されていないのが現状である。そこで、今後一層数多くの領域において、その活用が望まれている。何故なら、この技法の利用によって、次のような長所が期待できるからである。

- (i) 広域情報を瞬時に入手でき、経済的でもある。
- (ii) 地表面の反射エネルギーの波長特性を広範かつ多チャンネルな形式 (写真測量では不可能な領域にまで) において抽出できる。
- (iii) Line Scanning 方式であり、面的な Scanning 方式より、多くの情報が期待でき、計算機処理にも好都合である。

2. 利用したリモートセンシング・データ

本報告で解析に使用したリモートセンシング・データ (Multi Spectral Scanner Data 以下、MSS データと略す) は、1978 年 10 月 2 日 11 時 28 分から正午にかけて収録されたものである。このデータを収録した際の飛行コースは Fig. 1 に示すとおりであり、霧ヶ峰付近から美ヶ原方向へと進んでいる。また、収録時の気象条件、飛行高度等の諸条件、ならびに MSS データから CCT (Computer Compatible Tape) に変換された仕様を Table 1 に示した。なお、この CCT が各チャンネルで使用している電磁波の波長領域との対応は、Table 2 に表示したとおりである。

*1 信州大学教養部

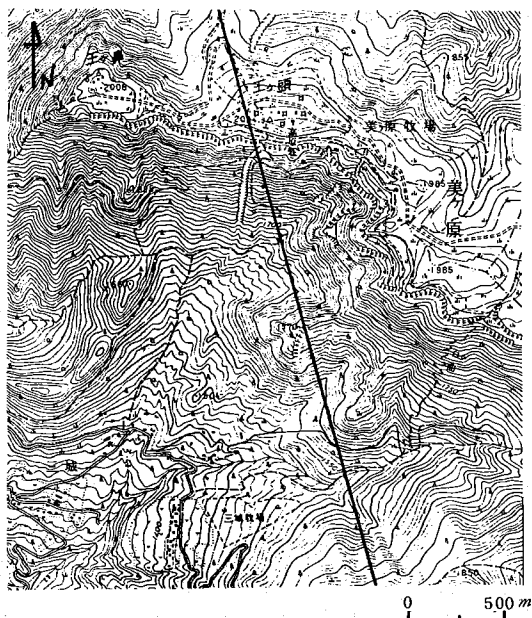
*2 京都大学農学部

Table 1. 観測時の諸条件

観測日	開始時間	高度	気象条件
'78 年 月 日 10 2	時 分 11 28	12,600 feet	快 晴

Table 2. 利用波長域

チャンネルNo.	波 長 (μm)
1	0.38 ~ 0.42
2	0.42 ~ 0.45
3	0.45 ~ 0.50
4	0.50 ~ 0.55
5	0.55 ~ 0.60
6	0.60 ~ 0.65
7	0.65 ~ 0.69
8	0.70 ~ 0.79
9	0.80 ~ 0.89
10	0.92 ~ 1.10
11	9.5 ~ 12.0

Fig. 1. 研究対象地域
(太い実線が観測時の飛行コース)

II. 研究対象

研究対象とする地域は、前報^(1,3)とは同じ美ヶ原高原南斜面に位置する三城と呼ばれる一帯である。1978年10月に得られたMSSデータは、霧ヶ峰高原北部から美ヶ原高原のほぼ全域を覆うものであったが、取り扱うデータ量の膨大さ、ならびに解析に使用する電子計算機のDimensionality等を考慮して、上述の地域を中心とした。なお、この研究対象は前報のメッシュ法による地域とはほぼ同じところであり、以前の各種メッシュデータを重ね合せて利用できるという利点もある。更に、この地域は松本からほぼ一時間程度の位置にあり、現地踏査 (Ground Truth) にとっても恰好の研究対象地となっている。

Fig. 1に、この研究対象地域の地形図を示している。この図からも、三城地域が美ヶ原高原のほぼ南斜面に発達した袋状の小さな谷であることがわかる。

更に、この地域は、豊富な自然と小規模ながら耕地等の人為活動が併存している。そして、この比較的単純な様相の自然条件や社会条件の中で、観光と自然との共存を図ろうとしている地域である。この意味からも、この研究対象域が中信高原域での地域環境の一つのパターンを代表するような特性をもっている地域であり、リモートセンシングの好対象でもある。

なお、この地域の自然、社会、水文等の諸条件については、前報^(1,3)で述べてあるので、その詳細についてはそちらを参照されたい。

III. 解析手法

I-2で得られたMSSデータの解析には、京都大学大型計算機センターで、北村等⁽⁴⁾によって開発されたPARS (Program Package for the Remote Sensing Data Analysis) を主に用いた。今回行った解析手法の概要をフローチャートにまとめたのがFig. 2である。

Fig. 2のフローに沿って、対象地域の解析を進めた訳であるが、この途上において得られる濃淡図の一例を示すとFig. 3のようになる。この濃淡図は11チャンネルのデータ値、つまり熱赤外域の波長特性に対応しているもので、温度環境からみても美ヶ原高原の南面および南西面のガケの発達の様相を如実に示している。なお、図中の各ピクセル (図の計算機打出し結果の各一文字となる) は、このMSSデータから得られる最小分解能であり、各々の一ピクセルが現地の約9 m直径の円に対応している。

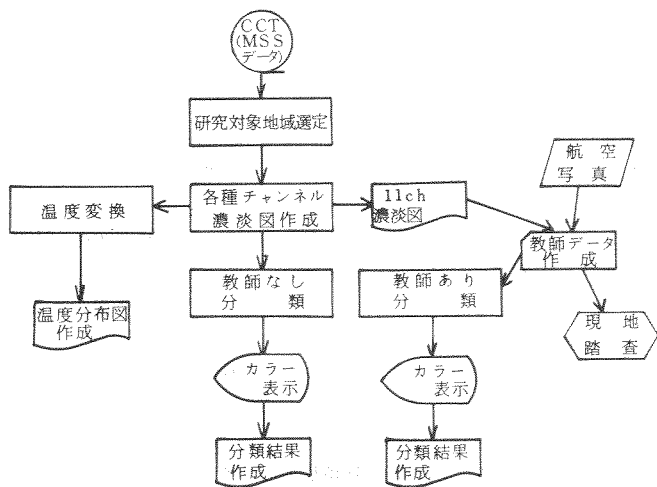


Fig. 2. 解析 Flow chart

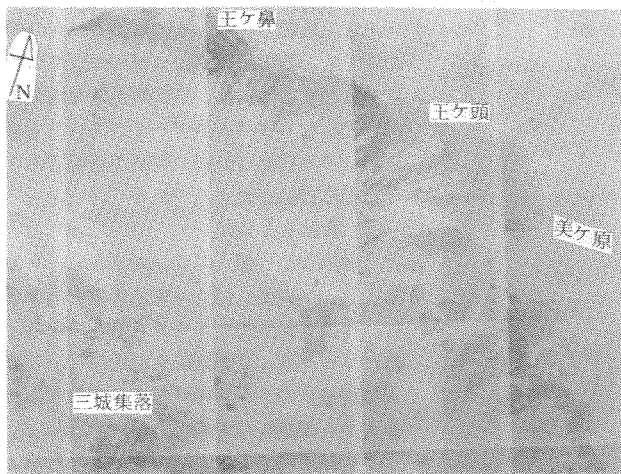


Fig. 3. 11チャンネル濃淡図



Fig. 4. 等温線図

IV. 解析結果

1. 地表面温度分布

MSSデータのうち11チャンネルデータは、(1)式によって温度 T (K)に変換が可能である⁽⁵⁾

$$T(K) = \left\{ \frac{e - e_1}{e_2 - e_1} (T_2^{4.6} - T_1^{4.6}) + T_1^{4.6} \right\}^{1/4.6} \quad (1)$$

ここに、 e_1 : 設定温度 T_1 の規準信号の上
限値

e_2 : 設定温度 T_2 の規準信号の下
限値

である。

この(1)式を用いて、対象地域の各データに温度に変換し、その結果を 3°C 間隔の等温線図にまとめたものが、Fig. 4である。

ここに得られた等温線図は、残念ながらデータ収録時点における現地実測結果が存在しないため、現実の値との比較、あるいは(1)式による推定精度の検証を行なうことが不可能であった。しかし、松田、鳥井等が諏訪湖流域において、(1)式による温度推定値と現地実測結果との間の比較を試みている。この結果によると、各地点での温度の絶対値は(1)式の推定値の方が少し低い値となる場合が多いが、地点間の相対的な温度差は両者ともほぼ合致しているようである。このことからすれば、Fig. 4の等温線図の結果は、各地点における温度の絶対値の精度に関して多少の問題を残すが、地域の相対的な温度分布に関して有益な情報を提供してくれると考えられる。

さて、Fig. 4を見ると等温線が密集して黒ばかになっている。この点は、地表面温度が周囲に比べて高くなっているような局地であり、例えば王ヶ頭の南斜面などでは等温線が3~4本とりまいていて、つまり、このような局地では、周囲の地域と約 9°C ~約 12°C も温度差が存在するのである。このことは、研究対象地域の中で、地表面温度の極値、即ち小規模ながらいくつかの熱の島(Heat Island)現象の発生が見られたということを意味している。特に、これら熱の島の発生地点は、美ヶ原南面、同じく南西面、および三城集落付近に多く、その土地の地面の形態(あるいは、土地利用形態)と大きなかわりあいがある。

あるものと想定される。

2. 土地利用分類

リモートセンシングによる土地利用分類の手法は、主に二つの方法がある。その一つは、得られた濃淡図、航空写真、あるいは現地踏査等の結果から、対象地域の中でいくつかの特徴的な地被型態を代表する教師（例えば、集落、道路、カラ松等の判別種目とその各々の位置）をデータとして与え、そのデータと対応するスペクトル値に基づいて土地分類を行なっていく方法である。この方法は、一般に“教師あり分類”と呼ばれているものである。もう一つの方法は、MSSデータで得られた各種のチャンネルのスペクトル値を使って、それを統計学的な判別手法⁽⁴⁾（例えば、ユークリッド法、線型判別法、最尤法 etc.）によって分類していくもので、“教師なし分類”と呼ばれている。ここでは、この二つの方法を利用したが、“教師あり分類”に関してその教師となるデータが不十分であったためか、未だ十分な解析に至っていない。しかし、一応両者の例について、各々簡単にその

結果を説明すれば、次のとおりである。

(i) 教師あり分類

MSSデータ収録の際に、同時撮影されたハツセルブラート写真、現地踏査、ならびに11チャンネル・データの濃淡図等を使って、8つの土地利用判定種目と各々の代表的な位置を同定し、それらを教師とした。この8つの判定種目は、ガケ等の裸地、畑地、牧草地、草原、カラ松等の針葉樹林、広葉樹の粗林、伐採跡地等に対応する地域であった。この教師によって、対象地域全体の土地分類を行ない、その結果をカラー表示すれば、Fig.5 のようになる。

この結果によると、ガケ等の裸地面、耕地（特に、畑地）、および美ヶ原高原上の草原植生については、かなり明確な分類ができたものと考えられる。しかし、樹林域の中で広葉樹、針葉樹等の判別、あるいは低地での草原などの分類が未だ不明確である。これは適切な教師が選定されていない結果によるものと考えられ、今後いくつかの教師選定上の問題を残している。これらの問題

の中でも、この研究対象地域のように山岳地域を分類する際には、教師の正確な位置同定の問題、ならびに入手データのスペクトル値に対する地形的な影響の問題が重要であり、今後更に検討を要するであろう。

(ii) 教師なし分類

“教師なし分類”には、MSSデータのうち、5, 7, 9, 11チャンネルのデータを用い、その判別手法としてPARSに組み込まれたユークリッド距離法を利用した。この結果は20種類のクラスに分類されており、これをカラー表示したものがFig. 6である。

この結果によると、前の教師あり分類よりかなりの正確さで土地分類が行われたと考えられる。例えば、美ヶ原台地上の道路、三城集落付近の畑地、牧草地等が適確に分類されている。その他、各種植生に関しても、まだ定性的な検討の段階であるが、針葉樹、広葉樹、草原程度の分類も可能であろう。

V. 地表面温度環境に関する考察

研究対象地域の地表面温度分布、土地利用分類の一応の結果が、リモートセンシングによって得られた。ここでは、これらの結果⁽¹⁾に加え、前報のメッシュデータも参考にして、地域の地表面温度環境に関する若干の定性的な考察を行なう。

一般に、地表面温度の決定はその地点における太陽放射、地面での反射、あるいは地面

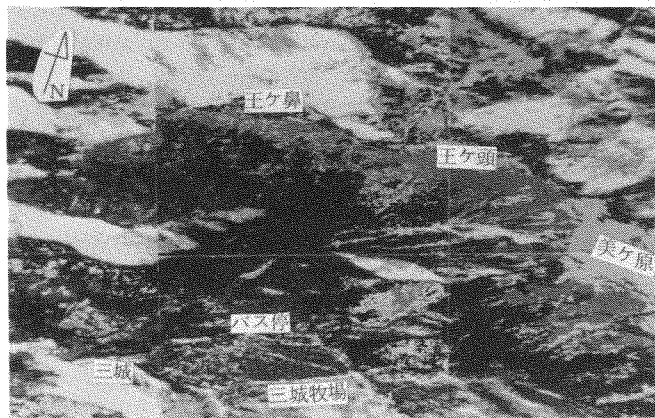


Fig. 5. 教師あり分類結果

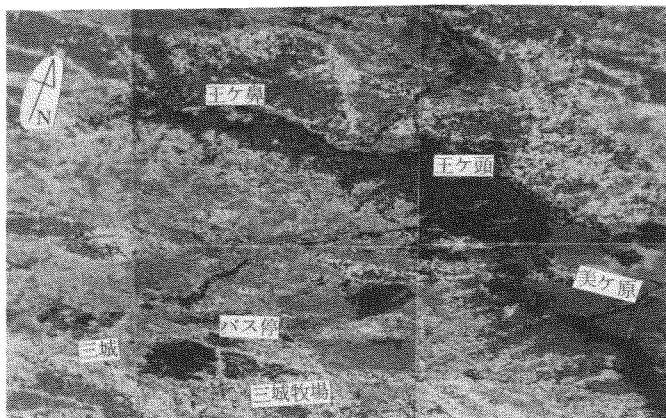


Fig. 6. 教師なし分類結果

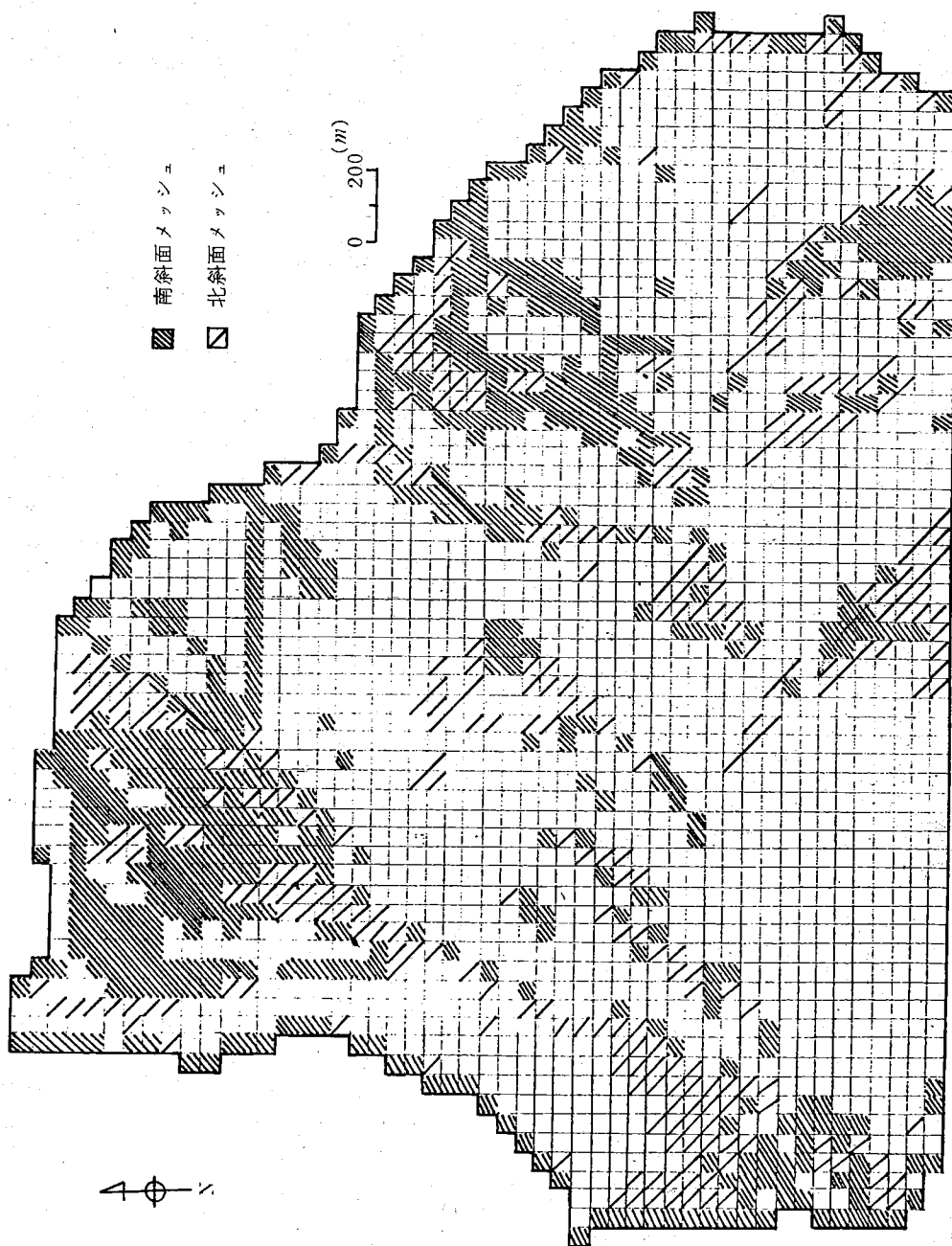


Fig. 7. 斜面方位 メッシュマップ

や大気からの放射などの収支の結果、つまり熱収支によって成り立つと考えられる。これらの放射バランスは、風速、湿度、気温等の気象因子、あるいは地面のAlbedo、比熱、熱伝導率等の物理的諸因子等にも深いかわり合いをもっている。更に、これらの諸因子は地形的な因子、地面状態を決定する地被因子等と関連して、地表面温度形成のメカニズムを一層複雑な結果としている。ここでは、以上のいくつかの因子の中から、特に地形的

な因子と土地利用と関連が深い地被因子を選び、それらについて考察する。

1. 地形と温度

地形因子の中で、斜面方位とその勾配は、地表面が受ける日射量に直接的な影響を与える重要なものである。例えば、筆者等が諏訪湖流域で理論日射量を推定した結果によると、南斜面の地域では 5001 y/day 以上もある

ところが多く、他方北斜面では40ly/day以下の地域もあり、斜面方位によって来射エネルギーに大きな相違が見られた。また、E. M. Budyko⁽⁹⁾によると斜面方位とその勾配の差が、その地域における積算温度に大きな違いを出現させるとしている。これらのことから、地形がその地域の温度環境に深いかかわりをもつことが推定されよう。

そこで、北斜面と南斜面の地表面温度の差を定性的に把握するため、前報のメッシュ法を使ってFig. 7に北斜面と南斜面をもつメッシュだけを表示した。なお、このメッシュマップは、各メッシュ毎を8つの方位に分割し、その結果を使って作成したものである。Fig. 7の結果とFig. 4の温度分布を対比して見た時、やはり南斜面が北斜面に比べて、約6℃～15℃程度高い温度となっている。更に、南斜面の中でも美ヶ原王ヶ頭のすぐ南にある急勾配をもつところでは、測定時(11時23分頃)において、非常に高い温度が出現している。以上の点から見ても、斜面方位とその勾配は地表面温度形成の重要な因子であることがわかる。

なお、前述した様にこのMSSデータは、ほぼ南中時直前に測定されたものであった。そのため、一般に言われているように、大気中の温度は南中時以後の1～2時間後に極大に達すると考えられる。しかし、地表面温度は気温と違って、太陽放射が各々の地面のなす角度あるいは、雲による太陽放射の遮断の有無等が大きくかわっていると考えられ、時々刻々斜面毎にその温度が大きく変化するものと推定される。

2. 地被状態と温度

地表面での植被の有無、水分の有無等は、Albedo、熱容量等と関連して、そこでの温度決定にかかわる重要な役割りを演じている。例えば、尾島等⁽¹⁰⁾は放射温度計を使って、裸地面、植被面、構造物の屋根等でその表面温度を実測し、それらを20℃以上の温度差があるということを報告している。

そのため、ここでは研究対象地域内のいくつかの土地判別種目を選び、各々に対応する代表的な温度推定値を

まとめた。その結果はTable 3に示すとおりである。この推定結果から見ると、美ヶ原の南斜面のガケ、集落内の畑地、伐採跡地、牧草地の順に温度が高くなっている。また、その他の草原や樹林等のある植生面は、前述した地形的条件が大きく関与したためか、その値に大きなバラツキが認められた。

3. 地表面温度形成と環境

定性的な検討であったが、地形および地被状態(つまり、土地利用型態)は、地表面の温度形成に対して決定的な役割を荷なっていることがわかった。特に、これらの因子は局地的な温度形成に、重要な要因となるであろう。このことは、尾島等⁽¹⁰⁾が人工熱源による都市域での熱の島の出現を指摘したこととは異なって、斜面方位や地被状態によっては、かなり自然状態にちかい地域でも熱の島が出現する可能性もありうるということを示している。更に、畑地、牧草地等の土地利用行為が、地域の熱環境を大きく変える可能性を十分にもち得ることを示している。

これら地形や地被状態等によって生じる地表面の温度差は、そこに接した大気⁽¹¹⁾の温度勾配を一層助長させ、その結果局地風や局地的な雲の発生等の一因にもなり、その地域の微気象を形成するに至るのである。そして、それは、その地域の自然の諸環境や土地利用における諸環境に対して、ある時は支配要因となり、またある時は規制要因となって働くのである。

あ と が き

美ヶ原高原南斜面の温度環境と土地利用について、主にリモートセンシングより得られた結果から考察を行ってきた。ここに得られた結果は、未だ定性的な段階を超えないものであったが、リモートセンシングによる地域熱環境へのアプローチの有効性とその可能性を示している。しかし、リモートセンシングによる定量的な地域熱環境の解析に関して、まだいくつかの問題点が残されている。例えば、MSSデータの正確な位置同定の問題、温度変換の精度上の問題等である。今後も、これらの問題を検討しつつ、メッシュ法との組み合わせを行ない、地域の熱環境の考察を進めていく予定である。

なお、本研究の一部は財団法人日本造船振興財団日本国土海洋総合学術診断プロジェクトに参加して得られたものである。

Table 3. 地表面温度の分布

土地判別種目	15	20	25	30 (℃)
ガケ(基岩露出)				→
畑地		←→		
伐採跡地		←→		
牧草地		←→		
草地	←→			
美ヶ原高原	←→			
美ヶ原南斜面	←→			
樹林地	←→			

参 考 論 文

- (1) 松田松二・星川和俊：美ヶ原高原南斜面の地形環境，昭和53年度特定研究信州の自然環境モニタリングと環境科学の総合化に関する研究，1979，3
- (2) 豊田弘道；リモートセンシングの展望，計測と制御，vol.15，7，1976，7
- (3) 星川和俊・松田松二：美ヶ原高原南斜面の水分変動特性と水収支，昭和53年度特定研究信州の自然環境モニタリングと環境科学の総合化に関する研究，1979，3
- (4) 北村貞太郎，星仰，鳥井清司 他；PARS（リモートセンシングデータ処理用プログラムパッケージ）の概要（1）～（4），京都大学大型計算機センター広報，vol.11，No.3，No.4，1978，vol.12，No.1，No.2，1979
- (5) 日本造船振興財団，日本国土海洋総合学術診断（国土関係）昭和52年度事業報告書，1978，3
- (6) 松田松二，鳥井清司；PARSを用いた諏訪湖周辺の気象環境の解析，第4回リモートセンシングシンポジウム報告，1978，11
- (7) 三宅一郎ほか；SPSS統計パッケージII解析編，東洋経済新報社，1977
- (8) 松田松二，星川和俊，メッシュ分析による地形特性の把握，農土講演会要旨集，1979，5
- (9) 新編農業気象ハンドブック編集委員会；新編農業気象ハンドブック，養賢堂，1974
- (10) 尾島俊雄他；地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究，日本建築学会論文集，1976，7
- (11) 松田松二他，温度環境と熱収支系，農土論文集68号，1977，4